

STABLE NONLINEAR MACH-ZEHNDER FIBER SWITCH**Publication number:** JP2001507817T**Publication date:** 2001-06-12**Inventor:****Applicant:****Classification:**

- international: G01B9/02; G02B6/28; G02F1/35; G02F1/365;
G01B9/02; G02B6/28; G02F1/35; (IPC1-7): G02F1/365;
G01B9/02; G02B6/28

- European: G02F1/35C2

Application number: JP19980530319T 19971230**Priority number(s):** US19970034598P 19970102; US19970035062P
19970117; WO1997US24183 19971230**Also published as:**

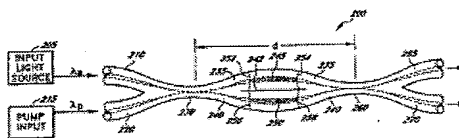
WO9829769 (A1)
EP1018044 (A1)
EP1018044 (A0)
CA2276489 (A1)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for JP2001507817T

Abstract of corresponding document: **WO9829769**

An all-optical fiber switch is implemented within a short Mach-Zehnder interferometer (200) configuration. The Mach-Zehnder switch (200) is constructed to have a high temperature stability so as to minimize temperature gradients and other thermal effects which result in undesirable instability at the output of the switch. The Mach-Zehnder switch (200) of the preferred embodiment is advantageously less than 2 cm in length between couplers (230, 260) to be sufficiently short to be thermally stable, and full switching is accomplished by heavily doping one or both of the arms (235, 240) between the couplers (230, 260) so as to provide a highly nonlinear region within one or both of the arms. A pump input source (215) is used to affect the propagation characteristics of one of the arms to control the output coupling ratio of the switch (200). Because of the high nonlinearity of the pump input arm (281, 220), low pump powers can be used, thereby alleviating difficulties and high cost associated with high pump input powers.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号
特表2001-507817
(P2001-507817A)

(43) 公表日 平成13年6月12日 (2001.6.12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	デマート* (参考)
G 0 2 F 1/365		G 0 2 F 1/365	
G 0 1 B 9/02		G 0 1 B 9/02	
G 0 2 B 6/28		G 0 2 B 6/28	W

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 45 頁)

(21) 出願番号 特願平10-530319
(86) (22) 出願日 平成9年12月30日 (1997.12.30)
(85) 翻訳文提出日 平成11年7月2日 (1999.7.2)
(86) 国際出願番号 PCT/US 97/24183
(87) 国際公開番号 WO 98/29769
(87) 国際公開日 平成10年7月9日 (1998.7.9)
(31) 優先権主張番号 60/034, 598
(32) 優先日 平成9年1月2日 (1997.1.2)
(33) 優先権主張国 米国 (US)
(31) 優先権主張番号 60/035, 062
(32) 優先日 平成9年1月17日 (1997.1.17)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

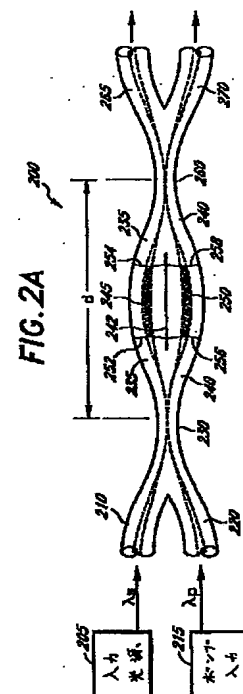
(71) 出願人 ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・レランド・スタンフォード・ジュニア・ユニバーシティ
アメリカ合衆国、94305 カリフォルニア州、スタンフォード (番地なし)
(72) 発明者 ディゴネット、マイケル・ジェイ・エフ
アメリカ合衆国、94306 カリフォルニア州、パロ・アルト、コーネル・ストリート、2090
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 安定した非線形マッハ・ツェンダーファイバスイッチ

(57) 【要約】

全光ファイバスイッチは、短いマッハ・ツェンダー干渉計 (200) の構成内に実現される。マッハ・ツェンダースイッチ (200) は、高い温度安定性を有して、スイッチの出力における不所望な不安定性の原因となる温度勾配および他の熱効果を最小にするように構成される。好ましい実施例のマッハ・ツェンダースイッチ (200) の結合器 (230, 260) 間の長さは有利には 2 cm 未満であり、熱的に安定化するように十分に短く、アームのうち一方または両方に非線形性の高い領域を設けるよう、結合器 (230, 260) 間のアーム (235, 240) の一方または両方を著しくドーピングすることにより、十分な切り換えが行なわれる。アームのうち一方の伝搬特性に影響を及ぼしてスイッチ (200) の出力結合比をコントロールするためにポンプ入力源 (215) が用いられる。ポンプ入力アーム (281, 220) の非線形性が高いため、低ポンプパワーを用い、それにより、高ポンプ入力パワーに関連した問題および高コストを軽減することができる。



【特許請求の範囲】

1. 光スイッチであって、

入力として光信号とポンプ信号とを受け、第1および第2の結合出力をもたらす第1の光結合器と、

前記第1の結合出力と光学的に連通する第1の光導波路とを含み、前記第1の光導波路は、前記光信号の第1の部分がそれを通して伝搬するようにし、さらに

前記第2の結合出力と光学的に連通する第2の光導波路を含み、前記第2の光導波路は、前記ポンプ信号と前記光信号の第2の部分とがそれを通して伝搬するようにし、前記第1の光導波路および前記第2の光導波路は、熱的に安定化するように十分に短い長さを有し、前記第2の光導波路はさらに、低いポンプパワーによって、前記光信号の前記第1の部分に対する前記光信号の前記第2の部分の相対的な位相シフト差が 180° になるよう十分な非線形性を有し、さらに

入力として前記第1および第2光導波路を受け、第1および第2の出力ポートをもたらす第2の光結合器を含む、光スイッチ。

2. 前記第2の光導波路が1ミリメートルと1センチメートルとの間であり、前記ポンプパワーは1ミリワットから10ミリワットのオーダーである、請求項1に記載の光スイッチ。

3. 前記第1および第2の光導波路が光ファイバである、請求項1に記載の光スイッチ。

4. 前記第1および第2の光導波路が、集積された光基板内に形成される、請求項1に記載の光スイッチ。

5. 前記第1および第2の光結合器が、融合されたファイバ結合器である、請求項1に記載の光スイッチ。

6. 前記第1および第2の光導波路の長さが2センチメートル未満である、請求項1に記載の光スイッチ。

7. 前記第1および第2の光導波路の長さが1ミリメートルのオーダーである、請求項1に記載の光スイッチ。

8. 光スイッチであって、

入力として光入力信号とポンプ入力信号とを受け、第1および第2の結合出力

をもたらす第1の光結合器と、

前記第1の光結合器と光学的に連通して前記第1の結合出力を受ける第1の光導波路とを含み、前記第1の光導波路は、前記光入力信号の第1の部分がそれを通して伝搬するようにし、

さらに

前記第1の光結合器と光学的に連通して前記第2の結合出力を受ける第2の光導波路とを含み、前記第2の光導波路は、前記ポンプ信号と、前記光信号の第2の部分とがそれを通して伝搬するようにし、前記第1の光導波路および前記第2の光導波路は、熱的に安定するよう十分に短い長さを有し、さらに

入力として前記第1および第2の光導波路からの光を受け、前記光に応答して第1および第2の出力ポートに光出力信号を選択的に与える第2の光結合器を含み、前記第2の光導波路は、前記光入力信号の前記第1および第2の部分間に位相シフト差をもたらすよう十分な非線形性を有し、低入力パワーの前記ポンプ信号が与えられたときに、前記光出力信号を前記第1の出力ポートから前記第2の出力ポートに実質的に完全に切替えるようにする、光スイッチ。

9. 前記第2の光導波路が1ミリメートルと1センチメートルとの間であり、前記ポンプパワーが1ミリワットから10ミリワットのオーダーである、請求項8に記載の光スイッチ。

10. 前記第1および第2の光導波路が光ファイバである、請求項8に記載の光スイッチ。

11. 前記第1および第2の光導波路が、集積された光基板内に形成される、請求項8に記載の光スイッチ。

12. 前記第1および第2の光結合器が、融合されたファイバ結合器である、請求項8に記載の光スイッチ。

13. 前記第1および第2の光導波路の長さが2センチメートル未満である、請求項8に記載の光スイッチ。

14. 前記第1および第2の光導波路の長さが1ミリメートルのオーダーである、請求項8に記載の光スイッチ。

15. 熱的に安定性であるファイバマッハ・ツェンダー光スイッチであって、

マッハ・ツェンダー干渉計を含み、前記マッハ・ツェンダー干渉計はそれを通して入力信号を伝搬させ、それにより、前記入力信号の第1の部分は第1の出力ポートに結合され、前記入力信号の第2の部分は第2の出力ポートに結合され、前記第1の部分のパワーと前記第1の部分および前記第2の部分のパワーの和との比は結合比を規定し、前記干渉計は、およそ0℃から50℃の範囲にわたって前記結合比が約0.2 dBを超えてまでは変化しないよう温度安定性を有し、さらに

光学的切換をもたらすよう、前記結合比を変化させる入力ポンプ信号を供給するポンプ入力源を含み、前記干渉計の前記温度安定性は、能動的な安定化を必要とすることなく前記ポンプ信号があるときに維持される、光スイッチ。

16. 前記干渉計の前記温度安定性が、およそ-20℃から70℃までの範囲では前記結合器が約0.2 dBを超えてまでは変化しないようにされる、請求項15に記載の光スイッチ。

17. 全光スイッチとして使用するためのファイバマッハ・ツェンダー干渉計であって、前記干渉計は、

光入力信号とポンプ信号とを受ける第1の結合器を含み、前記第1の結合器は光を第1および第2のファイバアームに結合し、さらに

前記第1および第2のファイバアームを介して前記第1の結合器と光学的に連通する第2の結合器を含み、前記第1および第2のファイバアームは、熱的に安定化するように十分に短い長さを有する前記第1および第2の結合器間に光学的な伝搬経路を規定し、さらに

前記第2の結合器と光学的に連通する第1および第2の出力ポートを含み、

前記第1のファイバアームは、1ミリワットから10ミリワットのオーダーのポンプパワーが前記第1のファイバアームに与えられたときに、前記光入力信号を前記第1の出力ポートから前記第2の出力ポートに十分に切換えることができるよう十分なドーピング濃度を有するドーパントによってドーピングされる、干渉計。

18. 前記第2のファイバアームもまた、前記ドーパントによってドーピングされる、請求項17に記載の干渉計。

19. 前記第2のファイバアームがドーピングされない、請求項17に記載の干渉計。

20. 前記第1の結合器および前記第2の結合器が第1および第2の光ファイバ上に形成され、

前記第1のファイバアームは、前記第1の結合器と前記第2の結合器との間に前記第1の光ファイバの部分を含み、

前記第2のファイバアームは、前記第1および第2の結合器間に前記第2の光ファイバの部分を含み、

前記第1の光ファイバは前記ドーパントによってドーピングされ、前記第1のファイバアームをドーピングするようにする、請求項17に記載の干渉計。

21. 前記第2の光ファイバがドーピングされない、請求項20に記載の干渉計。

22. 前記第1の結合器および前記第2の結合器が第1および第2の光ファイバ上に形成され、

前記第1のファイバアームは前記第1の結合器と前記第2の結合器との間に前記第1の光ファイバの部分を含み、

前記第2のファイバアームは前記第1および第2の結合器間に前記第2の光ファイバの部分を含み、

前記第1の光ファイバは前記ドーパントによってドーピングされ、前記第1のファイバアームをドーピングするようにし、

前記第2の光ファイバは前記ドーパントによってドーピングされ、前記第2のファイバアームをドーピングするようにする、請求項17に記載の干渉計。

23. 前記第1のファイバアームおよび前記第2のファイバアームが、間にある熱経路によって熱的に結合される、請求項17に記載の干渉計。

24. 前記ドーパントがエルビウムであり、50,000ppmのオーダの濃度を有する、請求項17に記載の干渉計。

25. 前記ドーパントがネオジウムであり、50,000ppmのオーダの濃度を有する、請求項17に記載の干渉計。

26. 前記ドーパントがイッテルビウムであり、50,000ppmのオーダの

濃度を有する、請求項17に記載の干渉計。

27. 前記光学的な伝搬経路の長さが2センチメートル未満である、請求項17に記載の光スイッチ。

28. 前記光学的な伝搬経路の長さが1ミリメートルのオーダーである、請求項17に記載の光スイッチ。

29. 全光スイッチとして使用するためのファイバマツハ・ツェンダー干渉計であって、前記干渉計は、

前記干渉計を伝搬する光信号を分割して再度結合する第1および第2の結合器を含み、前記第1および第2の結合器は間に伝搬経路を有し、前記伝搬経路は熱的に安定化するように十分に短い長さを有し、さらに

前記伝搬経路内にあるファイバアームを含み、前記ファイバアームは、ある入力パワーを有するポンプ信号を用いて前記第2の結合器の出力において前記光信号の十分な切換を行なうよう十分な非線形性を有し、前記入力パワーは、前記干渉計に確実に損傷が引き起こされず、かつ有害な熱による影響が確実に観察されないよう十分に低い、干渉計。

30. 前記伝搬経路の長さが2センチメートル未満である、請求項29に記載の光スイッチ。

31. 前記伝搬経路の長さが1ミリメートルのオーダーである、請求項29に記載の光スイッチ。

32. 第1および第2の結合器を有する短いファイバマツハ・ツェンダー干渉計であって、前記第1および第2の結合器間の伝搬経路に沿った距離は、熱的に安定化するように十分に短く、方法は、

前記干渉計の第1のポートに光入力信号を入力するステップと、

前記干渉計の第2のポートにポンプ切換信号を入力するステップと、

前記ポンプ切換信号のエネルギーをコントロールして、前記光入力信号を前記干渉計の1つの出力ポートから別の出力ポートに切換え、それにより前記干渉計を全光スイッチとして用いるステップとを含む。

33. 前記伝搬経路の長さが2センチメートル未満である、請求項32に記載の

光スイッチ。

34. 前記伝搬経路の長さが1ミリメートルのオーダーである、請求項32に記載

の光スイッチ。

【発明の詳細な説明】**安定した非線形マッハ・ツェンダーファイバスイッチ****発明の背景****発明の分野**

本発明は光スイッチに関し、特にマッハ・ツェンダーファイバスイッチに関する。

関連技術の説明

光スイッチは当該技術において周知であり、光ファイバ通信およびセンサシステムにおいて広範囲な用途を有すると期待される。特に好ましい種類の光スイッチは全光スイッチ (all-optical switch) であり、そこでは、ある出力ポートから別の出力ポートへの光の実際の切換が、機械的または電氣的切換なしで、切換光源からの光ポンプ信号の入力によって成し遂げられる。

マッハ・ツェンダー干渉計スイッチの基本的な構成において、光信号がスイッチへの入力信号として与えられる。入力信号は光結合器において分割され、干渉計の2つのアームの実質的に等しい部分を伝播させられる。2つの部分は第2の結合器において再結合され、第2の結合器の2つの出力ポートがスイッチの2つの出力ポートである。第2の結合器において再結合する光の部分が同位相であれば、2つの部分は第2の結合器の一方の出力ポートで強め合って干渉し、その出力ポートで出力される。他方、2つの光の部分が同位相でなければ、特に2つの光の部分が π 差分位相シフトを受けていれば、2つの光部分は第2の結合器の他方の出力ポートで強め合って結合し、その出力ポートで出力される。2つの光部分の差分位相差を制御することによって、光信号は2つの出力ポートのいずれかで出力されるよう選択的に切換えられ得る。

差分位相シフトの制御は光ポンプ信号を干渉計スイッチに入力することによって成し遂げられる。光ポンプ信号は光信号とは異なる波長を有し、波長依存多重化結合器を用いることによって、ポンプ光は2つの結合器の間の2つのアームの片方にのみ伝播させられる。ポンプ光は、ポンプ光が伝播しているアームの伝播特性を変化させ、そのアームを伝播する信号光部分に、他方のアームを伝播する

信号光部分の位相シフトとは異なる位相シフトを受けさせる。ポンプ光の強度を選択することによって、位相シフトは π と等しく設定でき、上述のように出力光は2つのポートの間で切換えられる。信号光を切換えさせるかまたは切換えさせないように、ポンプ光が選択的にターンオンまたはターンオフされ得る。切換を引起こす際のポンプ信号の動作に関する詳細は以下に述べるとおりである。

公知の干渉計スイッチにおいて遭遇される問題は多くあった。1つの問題は、ポンプ信号がないときに2つの信号が0または π の安定した位相差を有するように干渉計を構成可能にすることであった。別の問題は、2つのファイバアームの屈折率が温度とともに変化し、2つのアームの温度変化が等しくないか、または2つのアームの光路が等しくなければ、温度変化が差分位相シフトを変化させることである。さらに、ポンプによって引起こされる温度変化が2つのアームに対して異なることがあり、これは、一方のアームを伝播するポンプ信号がそのアームを加熱するが、他方のアームはポンプ信号からの熱によってあまり影響されないか全く影響されないためである。

ある、温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計が開発されたが、このような干渉計はファイバの固有カー効果を用いる全光ファイバスイッチとしての使用に從來適していない。これは、小型のこのような温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計が2つの融合された結合器の間での非常に短いファイバ長さしか考慮しないためである。したがって、カー効果を用いて非常に短いファイバアーム長さにわたって必要とされる π 差分位相シフトを引起こすためには、非常に高いポンプパワーが必要とされ、これは光ファイバの壊滅的な故障を引起こすものである。したがって、強い非線形性を有する温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計スイッチがさらに必要である。

発明の概要

本発明に従うと、温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計を用いる全光ファイバスイッチが開示される。本発明の好ましい実施例に従うと、 π 差分位相シフトを引起こすのに必要なポンプパワーがファイバの故障の影響を避けるのに十分であるほど低くなるように、非常に高い濃度で適切なドーパントを導入すること

によって、短い、温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計内に非常に高い非線形性がもたらされる。

本発明の1つの局面は、光信号およびポンプ信号を入力として受取り、第1の結合出力および第2の結合出力を与える第1の光結合器を含む光スイッチである。第1の光導波路が第1の結合出力と光通信する。第1の光導波路はそれを通して伝播する光信号の第1の部分とを有する。第2の光導波路が第2の結合出力と光通信する。第2の光導波路は、ポンプ信号と、それを通して伝播する光信号の第2の部分とを有する。第1および第2の光導波路は、熱的に安定するように十分短い（たとえば、2 cm未満の長さを有する）。第2の光導波路はさらに、光信号の第1の部分のに対する光信号の第2の部分の相対的位相差 180° を生じるために十分な非線形性を有する。第2の光結合器は、第1の光導波路の出力と第2の光導波路の出力とがとして与えられるように接続される。第2の結合器は第1の出力ポートおよび第2の出力ポートを有し、出力信号はポンプ信号があるかないかによって第1の出力ポートと第2の出力ポートとのうちの1つから選択的に与えられる。好ましくは、第1の光導波路および第2の光導波路は1 mmから1 cmの長さを有し、ポンプパワーはおよそ1-10ミリワットである。

本発明の別の局面は、光入力信号およびポンプ信号を入力として受取り、第1の結合出力および第2の結合出力を与える第1の光結合器を含む光スイッチである。第1の光導波路が第1の結合器と光通信して第1の結合出力を受取る。第1の光導波路はそれを通して伝播する光入力信号の第1の部分とを有する。第2の光導波路が第1の結合器と光通信して第2の結合出力を受取る。第2の光導波路は、ポンプ信号と、それを通して伝播する光入力信号の第2の部分とを有する。第1の光導波路および第2の光導波路は熱的に安定するように十分短い（たとえば、2 cm未満の長さを有する）。第2の光結合器は第1の光導波路および第2の光導波路を入力として受取り、第1の出力ポートおよび第2の出力ポートに光出力信号を選択的に与える。第2の光導波路は、光信号の第1の部分と第2の部分との間で異なる位相シフトを引起こして、低い入力パワーのポンプ信号が与えられるときに第1の出力ポートから第2の出力ポートへの光出力信号の実質的に完全な切換を引起こすように、十分な非線形性を有する。好ましくは、第1の光導

波

路および第2の光導波路が1mmから1cmの長さを有し、ポンプパワーはおおよそ1-10ミリワットである。

本発明の別の局面は、入力信号の第1の部分が第1の出力ポートに結合され、かつ入力信号の第2の部分が第2の出力信号に結合されるように、伝播する入力信号を有するマッハ・ツェンダー干渉計を含む、温度の安定した、ファイバのマッハ・ツェンダー光スイッチである。第1の部分のパワーと、第1の部分のパワーに第2の部分のパワーを加えた和との比が結合比を規定する。干渉計の温度安定性は、おおよそ-20℃から50℃の範囲にわたって結合比が約0.2dBよりも大きくは変化しないようなものである。ポンプ入力源は、光切換を与えるように結合比の変化をもたらす入力ポンプ信号を供給する。干渉計の温度安定性は、能動安定化を必要とせずに、ポンプ信号のあるときに維持される。好ましくは、干渉計の温度安定性は、おおよそ-20℃から70℃の範囲にわたって結合比が約0.2dBよりも大きくは変化しないようなものである。

本発明の別の局面は、全光スイッチとして使用するためのファイバのマッハ・ツェンダー干渉計である。干渉計は光入力信号およびポンプ信号を受取る第1の結合器を含む。第1の結合器は光を第1のファイバアームおよび第2のファイバアームに結合する。第2の結合器は第1のファイバアームおよび第2のファイバアームによって第1の結合器と光通信する。第1のファイバアームおよび第2のファイバアームが第1の結合器と第2の結合器との間の光伝播経路を規定し、この経路は熱的に安定するように十分短い（たとえば、2cm未満の長さを有する）。第1の光ポートおよび第2の光ポートは第2の結合器と光通信する。第1のファイバアームは、おおよそ10ミリワットまたはそれ未満のポンプパワーが上述の第1のファイバアームに与えられるときに、第1の出力ポートから第2の出力ポートへの光入力信号の完全な切換をもたらすのに十分な濃度および非線形性を有するドーパントを添加される。好ましくは、ドーパントはエルビウムであり、おおよそ50,000ppmの濃度を有する。代替的には、ドーパントはネオジムであり、おおよそ50,000ppmの濃度を有する。さらなる代替例では、ドー

パントはイッテルビウムであり、およそ50,000 ppmの濃度を有する。

本発明の別の局面は、全光スイッチとして使用するためのファイバのマッハ・

ツェンダー干渉計である。干渉計は、それを通して伝播する光信号を分割し、再結合する第1の結合器および第2の結合器を含む。第1の結合器および第2の結合器はその間に伝播経路を有し、これは熱的に安定するように十分短い（たとえば、2 cm未満の長さを有する）。伝播経路内のファイバアームは、損傷が干渉計に引き起こされないことを確実にし、かつ有害な熱的影響が観察されないことを確実にするのに十分であるほど低い入力パワーを有するポンプ信号を用いて、第2の結合器の出力において光信号の完全な切換をもたらすのに十分な非線形性を有する。

本発明の別の局面は、第1の結合器および第2の結合器を有し、第1の結合器と第2の結合器との間の伝播経路に沿う距離が熱的に安定するように十分短い（たとえば、約2 cm未満）、短い、ファイバのマッハ・ツェンダー干渉計を用いるための方法である。この方法は、光入力信号を干渉計の第1のポートへ入力するステップと、ポンプ切換信号を干渉計の第2のポートへ入力するステップと、干渉計の第1の出力ポートから別の出力ポートへの光入力信号の切換をもたらすようポンプ切換信号のエネルギーを制御し、それによって干渉計を全光スイッチとして用いるステップとを含む。

図面の簡単な説明

図1は、例示的な先行技術の非線形マッハ・ツェンダーファイバ干渉計スイッチを概略的に示す。

図2A、図2B、図2Cおよび図2Dは、本発明の好ましい実施例に従って構成された改良されたファイバのマッハ・ツェンダー干渉計を概略的に示す。

図3は、完全な光スイッチとして製造された本発明の代替的な実施例を示す。

図4Aは、時間に対する、パルス化された入力ポンプパワーを示すタイミング図である。

図4Bは、ポンプパワーがマッハ・ツェンダー干渉計に与えられるときにポンピングアーム内で観察される温度勾配を示す。

図4Cは、マッハ・ツェンダー干渉計の動作の間の、ポンピングアームからの熱エネルギーの非ポンピングアームへの結合を示す。

好ましい実施例の詳細な説明

先行する装置の説明

本発明の改良されたマッハ・ツェンダー干渉計スイッチを説明する前に、先行する装置についての付加的な背景情報を説明する。典型的な全光スイッチの基本構成を図1に示す。図1の構成は典型的にマッハ・ツェンダー干渉計と呼ばれる。図1に示すように、マッハ・ツェンダーファイバ干渉計スイッチ100は、入力光信号を受取るための第1の入力アーム105と、切換ポンプ信号を受取るための第2の入力アーム110を含む。入力アーム105、110は融合されて結合器120を形成し、結合器120は、第1の分岐アーム125および第2の分岐アーム130に分岐する。図示するように、第1の分岐アーム125は好ましくは第1の入力アーム105を形成するファイバの連続であり、第2の分岐アーム130は好ましくは第2の入力アーム110を形成するファイバの連続である。多くの例において、第1の分岐アーム125の部分135、または、第2の分岐アーム130の部分140、もしくは、両方の分岐アーム125、130の部分135、140が非線形的な領域を形成するように処理される。分岐アーム125、130はもう一度融合されて結合器素子150を形成し、結合器素子150は、第1の（上部）出力ポート155と第2の（下部）出力ポート160とに分岐する。好ましくは、第1の出力ポート155は、第1の入力アーム105および第1の分岐アーム135を形成するファイバの連続であり、第2の出力ポート160は第2の入力アーム110および第2の分岐アーム140を形成するファイバの連続である。

受動形態で（すなわち、ポンプのないときに）、波長 λ_s の入力信号が入力アーム105に与えられ、第1の結合器120によって2つの分岐アーム125、130に入る部分へ等しく分割される。当該技術において周知であるように、第2の分岐アーム130に入る入力信号の部分の位相が、第1の分岐アーム125に入る入力信号の部分の位相よりも $\pi/2$ だけ先行する。それぞれのアーム12

5、130を移行した後、2つ信号部分は第2の結合器150によって再結合される。第2の結合器150に入る前の2つの信号部分が同じ相対的位相差を維持

していれば（すなわち、第2の分岐アーム130における信号部分の位相が第1の分岐アーム125における信号部分の位相よりも $\pi/2$ だけ先行していれば）、2つの信号部分は第2の（下部）出力ポート160において強め合って再結合する。すなわち、信号全体が出力ポート160から出てくる。しかしながら、2つの分岐アーム125、130を移行した後、2つの信号部分が第2の結合器150に入るときに第2の分岐アーム130における信号部分が第1の信号アーム125における信号部分の位相を $\pi/2$ （モジュロ 2π ）（ここで、たとえば $5\pi/2$ （モジュロ 2π ） $=\pi/2$ ）だけ先行していないように、2つの信号部分が異なる位相シフトを受けていれば、2つの信号部分は第2の出力ポート160において強め合って結合しない。特に、2つの部分が第2の結合器150に入るときに、第1の分岐アーム125における信号部分の位相が第2の分岐アーム130における信号部分の位相を $\pi/2$ だけ先行するように、2つの信号が π （モジュロ 2π ）（ここで、たとえば 3π （モジュロ 2π ） $=\pi$ ）の差分位相差を受ければ、2つの信号部分は、信号の実質的に全体が第1の（上部）ポート155から出るように第1の出力ポート155において強め合って再結合する。第1および第2の分岐アーム125および130を伝播する間に2つの信号部分が受ける差分位相差が中間（0と π の間、または π と 2π の間等）であれば、2つの信号部分が第2の結合器に入るときに2つの信号部分の間の位相差が $\pi/2$ ではなく、信号のいくらかが第1の出力ポート155から出る一方、信号の残りが第2の出力ポート160で出ることになる。ここで、信号におけるパワーの比がそれらの間の位相差によって決定される。この原理は周知であり、マッハ・ツェンダーファイバ装置の多くの応用が、マッハ・ツェンダー干渉計ファイバスイッチを形成するために特定の融合されたまたは研磨されたファイバ結合器を用いる文献において報告されている。

干渉計としてのこの装置の作用が、結合器150で再結合される2つの信号の偏光の相対的状态に強く依存することが当該技術において周知である。コントラ

ストを最大にするために、2つの信号はその結合器において同一の偏光を有すべきである。2つの再結合する信号が同位相であるときにこれらが同一の偏光を有さなければ、干渉は出力ポート160において完全には強め合いとならず、これ

はすべてのパワーが出力ポート160から出るのではなく、残りのパワーが出力ポート155から出ることを意味する。同様に、2つの再結合する信号が同位相でなければ、干渉は出力ポート155において完全には強め合いでなく、これは全パワーが出力ポート155から出るのではなく、残りのパワーが出力ポート160から出ることを意味する。この発明の中心であるスイッチがやや異なる偏光を有する2つの再結合する信号で動作可能であるが、一般にそれらが同一の偏光を示さないことが好ましい。これはいくつかの態様で成し遂げられ得る。好ましい実施例では、スイッチは標準的な非偏光維持ファイバから作られるが、後述するように、信号の偏光状態がマッハ・ツェンダー干渉計スイッチ100の長さに実質的に添って変化しないのに十分であるほどファイバが短く、したがって、結合器150で再結合する2つの信号が実質的に同じ偏光状態を有する。第2の実施例において、図1のスイッチ装置は偏光維持ファイバからのみ作られる。この場合、ポート105での入力信号は線形的に偏光され、その偏光はファイバの2つの軸のいずれかと整列させられる。ファイバアーム125、130が十分に長い場合の第3の選択肢はファイバ偏光コントローラをファイバアームの一方または両方に組込むことである。ファイバ偏光コントローラの機能は、米国特許第4,389,090号に教示されるように、ファイバにおける信号の偏光を任意の望ましい偏光状態に調節可能とすることである。以下の説明において、偏光に関連した問題が回避されるようにこれらの状況の1つが暗に想定される。

上に手短かに述べたように、マッハ・ツェンダー干渉計ファイバスイッチのある応用は全光切替である。この応用に従うと、領域135、140の一方または両方が非線形効果を示すファイバから作られる。たとえば、応用の中には、(カー効果として知られる固有非線形性を有する)標準的なシリカファイバ、または、強い光非線形性を引き起こすドーパントを有した添加されたファイバを用いるものがある。当該技術において周知であるように、カー効果は、(たとえば λ 、波長

の) 光信号を有するファイバの屈折率が、信号自体の強度によってか、またはファイバを伝播する λ_s 以外の波長の他の光信号によってわずかに変更される現象である。全光切換を成し遂げるために、波長 λ_s とは異なる波長 λ_p のポンプ信号が第2の部分110に与えられる。第1の結合器120は、波長 λ_s の信号が両

方のアームの間で等しく分割される(すなわち、結合器が λ_s で50%の結合比を示す)が、異なる波長 λ_p を有するポンプが上部アーム125に結合されない(すなわち、結合器が λ_p で0%の結合比を示す)ように、波長分割マルチプレクサ(WDM)となるよう設計される。したがって、ポンプパワーの全体がマッハ・ツェンダー干渉計の下部アーム130に結合される。代替的に、全ポンプパワーが上部アーム125に結合されるようにポンプが100%結合されてもよい。代替的な起こり得る実施例においては、光ポンプは入力ポート110の代わりに入力ポート105によって結合される(これは、図1に示さない、ファイバ105上に配置されたWDM結合器によって成し遂げられ得る)。結合器120は、前のように結合比が信号に対して50%であり、ポンプ波長において0%であるWDM結合器として設計され、したがって、実質的にすべてのポンプパワーが上部アーム125に入る。代替的に、結合器120が信号に対して50%の結合比をなお有するが、ポンプ波長では100%の結合比を有するように設計されてもよく、したがって、実質的にすべてのポンプパワーが下部アーム130に入る。以下では、図1に示す第1の実施例の動作を、基本的な動作モードが上述の他の代替的構成に対して実質的に同じであるという理解のもとに説明する。

干渉計100の領域140が非線形的な性質であるために、ポンプパワーが下部アーム130を通るファイバコアの率の変化させる。下部アーム130における信号が伝播している領域の屈折率を変えることによって、信号の位相が効果的に変化する。簡単に述べると、ポンプ光からのエネルギーがファイバ領域140に吸収され、ドーパント内の電子がより高いエネルギーレベルに達するようにさせる。ドーパントの電子的構成の変化のため、信号波長 λ_s を含む光の波長に対してファイバコアの屈折率が変更する。非線形的領域140の長さにならって統合すると、率の変化は下部アーム130を移行した信号の非線形的位相シフト $\delta\phi$ を

引起こす。

下部アーム130における信号が $\delta\phi$ の位相シフトを経験するので、(上部アームの屈折率が実質に変化しないままであるようにポンプパワーが上部アームに入らないので) 上部アーム125の信号は位相シフトを経験しないが、相対的位相シフトが上部アーム125の信号と下部アーム130の信号との間に引起こさ

れる。さらに、位相バイアスとして知られる一定の位相差が、2つのアーム125、130の長さの相違のために結合器150において再結合する2つの信号の間に存在する。その結果、2つの信号が第2の結合器150によって再結合される場合、それらの相対的位相差はこの長さの差のために今や $\delta\phi$ にいくらかの一定位相シフトを加えたものである。 $\delta\phi$ とこの一定位相差との和を以下では $\Delta\phi$ と称する。

ポンプ入力のないときはアーム125、130を通る伝播長さの相違による位相差が0に調節される(すなわち、実質的にすべての入力信号が底部出力ポート160から出るようにする)という仮定のもとで、 $\delta\phi = \pi$ であるようにポンプパワーが選択されれば、ポンプのあるときは、実質的にすべての信号パワーが上部ポート155から出ることになり、したがって、入力信号は底部ポート160から上部ポート155へと効果的に切換えられている。ポンプパワーがオンである限りのみ入力信号が切換えられるので、この種のスイッチがラッチングスイッチでないことに注目されるべきである。ポンプパワーがターンオフされると、信号出力は下部ポート160に戻る。なぜなら、下部アーム130に引起こされる非線形性が要因となるのを終えるためである。

このような全光スイッチの開発および実現において多くの困難に遭遇してきた。たとえば、1つの困難は、ポンプ入力がないときに、2つのアーム125、130の長さの違いによる位相バイアスが非常に正確な値(たとえば、0)に設定されなければならないことである。これは、波長の何分の1かに2つのアームの相対的長さを注意深く制御することを必要とする。大きいセンチメートル単位またはそれよりも大きい典型的なアーム長さでは、これは極めて難しいとわかっている。この困難は、典型的に、マッハ・ツェンダーファイバアーム125、13

0の一方に配置された位相変調器（図示せず）で外部の一定状態の位相シフトを与え、したがって位相バイアスをその望ましい値に正確に設定することによって除去される。この技術は当該技術において周知である。

遭遇される第2の困難は、位相バイアスが外部の温度変化に非常に敏感であることである。アーム125、130のファイバ長さがわずかに数百波長でも異なり、装置の温度が不均一に変化すれば、2つのファイバアームの率および長さが異なる

量だけ変化し、これによって位相バイアスも変化する。この差は、ファイバの長さに比例する温度変化による拡張および収縮によって一部引き起こされるものであり、したがって、長いアームが短いアームよりもより大きい位相変化を受け、こうして位相の不均衡を引き起こす。この位相の不均衡はひいてはマッハ・ツェンダー干渉計100の出力ポート155、160における信号パワー分割比を変更することになる。

干渉計100は温度勾配にも敏感である。たとえば、2つのアーム125、130の温度がアーム間の温度勾配の変化によって異なる量だけ変化すれば、出力ポート155、160での信号パワー分割比が再び変化し、これはそれらの長さが正確に同一である場合でさえ生じる。

マッハ・ツェンダー干渉計100がポンピングされようとポンピングされまいと存在する上述の温度依存性の影響の両方が望ましくないものである。実際問題として、これらの影響はファイバアーム125、130を（温度勾配を最小にするために）物理的にできるだけ互いに近く、かつ短くすることによって、また、2つのアームをできる限り短く保って実際問題としてより容易となるように（全体の温度変化に対する感度を最小にするために）ファイバアームの長さをできる限り等しくすることによって低減される。

干渉計100の出力結合比を能動的に安定化させるために採用されてきた別の方法は制御ループを用いることであり、ここで、出力ポートの1つでの信号が検出され、基準と比較され、それによって、基準と検出された出力信号との間の差に比例するエラー信号が発生する。このエラー信号は次に増幅され、同じ位相変

調器（図示せず）に与えられる。この位相変調器はエラー信号を動的に0にするのにちょうど十分な位相を与えるようバイアスを設定する。バイアスの動的安定化がうまく作用するが、これは扱いにくく、装置コストを増大させ、光信号へのアクセスを必要とし、信号が動的に切換えられるときに技術的な困難に繋がる。最も重要なことに、これはスイッチを動作するために電子回路を必要とし、電気接続を最小化することが望ましいファイバセンサアレイまたは他の応用にとって一般に容認可能ではない。

マッハ・ツェンダー干渉計スイッチのもう1つの望ましくない影響は入力ポンプパワーの影響によるものである。より具体的に、ポンプ信号は一方のアームにのみ与えられるので、ポンプパワーを有さないアームにおいては発生されない、熱がそのアーム内のポンプによって発生され得る。この温度差は、ポンプがオンであるときにマッハ・ツェンダー干渉計100に対して結合比の不均衡を引起こすポンプによって生じる熱的位相シフトに繋がる。この影響が熱的なものであるので、これは一般に遅く、したがって、ポンプがターンオフされた後にこの不均衡がなくなるまで数マイクロ秒以上必要とされる。ある応用では、この影響は著しい問題となり得る。

マッハ・ツェンダースイッチにおいて、熱的安定性は、全体の温度変化の影響を最小にするために2つのファイバアームがほぼ同一の長さを有することを示す。スイッチが大きい温度範囲（たとえば、ほぼ華氏何十℃）にわたって動作するならば、マッハ・ツェンダー干渉計スイッチを形成する2つの結合器の分割比は温度とともに変化するべきでない。さらに、上述のように温度勾配は最小にされるべきである。

温度の安定したファイバマッハ・ツェンダー干渉計のある先行する設計が多くの上記の問題を軽減してきた。このマッハ・ツェンダー干渉計は温度安定性の高い結合器として使用するために設計されており、結合比における熱によって引起こされた変化が二重結合器構成によって正確に相殺される。この結合器は、1992年6月2日にGonthier他に発行され、引用によりここに援用される米国特許第5,119,453号に開示される。また、F. Gonthier, D. Ricard, S. Lac

roix,および], Buresによる「同一の単一モードファイバから作られる波長平坦化 2×2 スプリッタ」(“Wavelength-flattened 2×2 splitters made of identical single-mode fibers”)、OPTICS LETTERS Vol. 16, No. 15, pp. 1201-1203, 1991年8月も参照されたい。結合器はカナダ、トロントのCANSTARから入手可能である。簡単に述べると、この特許に開示される小型温度安定マッハ・ツェンダー干渉計は、実質的に同一である(すなわち、それらは実質的に同じ結合比を有し、結合比は実質的に同じ温度依存性を示す) 2つの融合された結合器を形成することによって作られる。温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計は互いに接して並んで置かれたファイバの2つのストランドから製造される。

ファイバは次に始めはある場所で第1の結合器を形成するために融合され、次はファイバに添って約1 mmの所で2つのファイバが再び融合されて第2の結合器を形成する。

2つのファイバ長さが正確に等しく、2つの結合器が実質的に同様の50/50の結合比を有する場合、2つの結合器を同じ量だけ加熱すると干渉計が不均衡になることがわかる。なぜなら、結合比が変化するためである。しかしながら、 π 位相シフトが2つのアーム間に存在するとき(すなわち、2つのアームの長さが波長の半分だけ異なる場合) この影響が避けられることがわかる。2つのアームが波長の半分だけ異なる場合、2つの結合器の結合比におけるほぼ同一の変化が互いを相殺する。この補償方式が均衡のとれたマッハ・ツェンダー干渉計の初めの製造によって実現される。その後、2つのマッハ・ツェンダーファイバアームにわずかに湾曲を与え、 π の位相差が得られるまで出力を監視することによって、 π の位相シフトが2つのアーム長さ間に与えられる。アセンブリは次に構造上の安定性を与えるために平坦なシリカ基板上に接合剤で軽く取付けられる。

結果として生じる製品は、温度の影響から実質的に独立したファイバ結合器として動作する。具体的に、温度の安定したマッハ・ツェンダー干渉計は単一の融合された結合器のように温度が安定しており、分割比における測定される変化は -20°C から $+70^{\circ}\text{C}$ の範囲でわずか0.2 dBである。これらの装置はCANSTARにおいて1 mmの長さに作られているが、適度な安定性を保ちながら2 cmも

の長さに作られてもよい。

好ましい発明に従う改良の説明

図2A、図2B、図2Cおよび図2Dは、本発明に従って構成された例示的な全光マッハ・ツェンダーファイバスイッチ200の実施例を示す。各実施例において、光スイッチ200は光源205から波長 λ_s の入力信号を受取る。信号はスイッチ200の第1のファイバアーム210の入力ポートに入る。ポンプ入力源215は波長 λ_p の光ポンプ信号を第2のファイバアーム220の入力ポートへと伝送する。ファイバアーム210、220（および干渉計200の残り）を構成するために用いられるファイバはたとえばCorning, Inc.から入手可能なシ

リカファイバから有利に形成される。2つのファイバアーム210、220は結合器230を形成するために融合される。結合器230の後、スイッチ200は上部ファイバアーム235および下部ファイバアーム240へと2つに分岐し、上部ファイバアーム235および下部ファイバアーム240はインターフェイス242に近接して配置される。たとえば図2Aの実施例では、ファイバアーム235、240は、たとえば領域245、250においてファイバのコアをエルビウム、ネオジムまたはイッテルビウムで添加することによって生成され得るそれぞれの非線形領域245、250を含む。図2Aの実施例では、添加された領域245、250は、上部アーム235における融合されたスプライス252、254と、下部アーム240における融合されたスプライス256、258とによってファイバアーム235、240に接続される。

ある有利な実施例では、熱伝導性グリース（図示せず）または他の熱伝導手段がインターフェイス242において2つのアーム235、240の間に設けられて、2つのアーム235、240間の熱的結合を向上させる。以下により詳細に述べるように、向上した熱的結合は2つのアーム235、240間の熱勾配による遅い残留切換を低減する。

ファイバスイッチ200の長さにさらに添って、別の結合器260が米国特許第5,119,453号に開示される技術に従ってファイバアーム235、240を融合させることによって作られる。米国特許第5,119,453号は引用

によりここに援用される。有利なことに、結合器230、260は3mmから8mm離れているが、1mmから2cmまでの長さが特定の応用に用いられ得る。結合器230、260間の距離は図2の距離(d)によって示される。最後に、融合された結合器260の後、ファイバは上部出力アーム265と下部出力アーム270とに分岐する。

動作において、入力ソース205からの波長 λ_s の光がファイバアーム210の入力ポートに入り、結合器230によって両方のファイバアーム235、240に結合される。有利なことに、入力光信号は2つのアーム235、240の間でほぼ等しく分割され、したがって、結合器230は2つのアーム235、240の各々に実質的に50%の結合比を与え、アーム240の光の位相がアーム2

35の光の位相を $\pi/2$ だけ先行する。2つの信号部分が結合器260の入力に達するときの2つの信号部分間の位相差に依存して、光が出力ポート265、270の一方または両方に結合される。結合器230、260間の2つのアーム235、240が正確に同じ長さであり、同じ伝播特性を有すれば、図1に関して上述したように、アーム240の光の位相が結合器260においてアーム235の光の位相を $\pi/2$ だけ先行し続け、入力光信号の2つの部分が出力ポート270を経て出るように結合器260で強め合って再結合する。しかしながら、アーム235、240の長さが等しくなければ、または、アーム235、240の伝播特性が異なっていれば、2つのアーム235、240を伝播する信号は異なる位相シフトを受け、したがって、アーム240における光の位相が最早アーム235における光の位相を結合器260の入力において $\pi/2$ だけ先行しない。2つの信号部分がアーム235、240を伝播している間に π の異なる位相シフトを受ければ、結合器260の入力において、アーム235における信号部分の位相がアーム240における信号部分の位相を $\pi/2$ だけ先行し、2つの信号部分が出力ポート265で強め合って結合し、したがって、実質的にすべての結合された信号が出力ポート265に結合されるが、認められるほどの信号光がポート270から出ないであろう。いずれの信号部分も他方の信号部分を正確に $\pi/2$ だけ先行しなければ、光の一部が出力ポート265と結合され、その光の一部が

出力ポート270と結合される。

上述のように、好ましくは、波長 λ_s の入力光信号が2つのアーム235、240の間で実質的に等しく分割され、かつ波長 λ_p の光ポンプ信号が2つのアーム235、240の一方にのみ（たとえば、この説明の目的のために下部アーム240に）伝播させられるように、結合器230が設計される。ポンプ信号が伝播するアーム240をここでポンピングアーム240と呼ぶ。ポンピングアーム240を移行するポンプ信号は非線形領域250の非線形性のためにそのアームの率を変更する。したがって、ポンピングアーム240を移行する光信号の位相には変化があるが、非ポンピングアーム235を移行する光信号の位相には変化がない。このように、差分位相シフトが2つのアームの光信号間に発達させられる。差分位相シフトが π であるようにポンプ強度を調節することによって、光信

号は一方の出力から他方の出力へと切換えられる。

上述のように、スイッチの適切な動作のために受動干渉計（すなわち、ポンプオフ）の位相バイアスが0または π のいずれかに調節されなければならない。先行技術では、位相バイアスが π （または等価に 3π 、 5π 等、または $-\pi$ 、 -3π 、 -5π 等）と等しければスイッチが外部温度変動に対する感度を下げていると教示する。他方、位相バイアスが0（または等価に 2π 、 4π 等、または -2π 、 -4π 等）と等しければ、スイッチは外部の温度変動に対する感度がかかなり高いことが示される。たとえば、F. Gonthier, D. Ricard, S. Lacroix, および J. Bures による「同一の単一モードファイバから作られる波長平坦化 2×2 スプリッタ」、OPTICS LETTERS Vol. 16, No. 15, pp. 1201-1203, 1991年8月を参照されたい。これは2結合器構造の波長の依存性を示す。この構造の温度依存性も同様の原理に基づく。

この観察によると、スイッチが主としてオフ状態である、すなわち、ポンプがわずかな時間、すなわち、低いデューティサイクル（50%未満）でのみ与えられることを必要とする応用では、 π の位相バイアスを選択することが重要である。このように、スイッチがほとんどの時間においてそうであるオフ状態（ポンプなし）にあるときに2つのアームの相対的位相バイアスは π であり、温度変動に

対する感度が低減していることが示される。スイッチがわずかな時間においてそうであるオン状態（ポンプ・オン）にあるときには、2つのアームの相対的位相バイアスが 2π であり（すなわち、 π に、ポンプによって引起こされる π 位相シフトを加えたポンプ位相バイアスなし）、スイッチは温度変動により敏感である。したがって、ほとんどの時間においてスイッチは温度変動に対する感度の低下を示す。

逆に、スイッチが大半の時間にわたってオン状態である適用例であって、すなわち長い時間にわたってポンプが与えられる必要があり、すなわち（50%を超える）高いデューティサイクルを有する必要がある適用例の場合、基本的には0の位相バイアスが選択される。この態様で、大半の時間にわたるがスイッチがオン状態（ポンプ・オン）にあるときに、2つのアームの相対的な位相バイアスは π （すなわち0の非ポンプ位相バイアスにポンプによって引起された π の位相シフトを加えたもの）であり、温度変化に対するスイッチの感度は低い。短い時間にわたってではあるがスイッチがオフ状態（ポンプ・オフ）にあるとき、2つのアームの相対的な位相バイアスは0であり、温度変化に対するスイッチの感度は高い。したがって、ここでもまた、大半の時間にわたって、温度変化に対するスイッチの感度は低い。

スイッチがおよそ50%のデューティサイクルで動作することが意図される場合、受動干渉計の位相バイアスは0または π のいずれかに調節される。

実際に、受動干渉計の位相バイアスの調節は2つの結合器間にある2つのファイバをわずかに湾曲させることによって行なうことができる。湾曲部により、湾曲部の外側部分にあるファイバの位相シフトの方が、湾曲部の内側部分にあるファイバの位相シフトよりも著しくなる。湾曲部の半径は2つのアーム間に必要な位相差、すなわち必要な位相バイアスをもたらすように調節される。湾曲部は後に、湾曲したファイバ領域を基板上に結合することによるか、または他の手段によって、機械的に固定される。

図2Aの実施例では、ファイバアーム235および240の両方がドーピングされ、すなわち著しい非線形性を示し、結合器230、260、入力ファイバ2

10、220および出力ファイバ265、270はドーピングされない。これは、構造を製造する前に、ドーピングされたファイバアーム235および240をスプライス252、254、256および258の受動ファイバ部分に接合することにより行なわれ得る。後により詳細に説明するカラーセンターに特に適用できる別の製造方法は、マッハ・ツェンダー干渉計の中央領域（この領域のみ）にガンマ線を照射することである。このようにすると、カラーセンターは中央領域にのみもたらされる。図2Aに示される実施例は有益である。なぜなら、カラーセンターによっては著しい非線形性が引起され、中心のファイバはドーピングされないため、入力および出力ファイバリッドまたは結合器230および260ではポンプ吸収が行なわれないからである。ファイバリッドおよび／または結合器にドーパントが存在していれば、ポンプ吸収をこれらの領域で行なうことは不可能である。その後ポンプによりこれらの領域に位相シフトが生ずるが、この位相シフトはマッハ・ツェンダー干渉計の外部で起こるため、信号が切換えられること

はない。いくらかのポンプパワーが損失されるだけであろう。

図2Aの構成では、2つのファイバアーム235および240のコアのみがドーピングされる。本質的に同じ性能を持つ代替的な構成（図示せず）では、コアおよび外装の両方がドーピングされる。後者の場合、外装全体または外装の部分のみがドーピングされ得る。

図2Bに示される代替的な実施例の動作は、2つのファイバアーム235および240のうち一方（たとえば図2Bでポンプ信号によって下部ポンピングアーム240）しかドーピングされないことを除いて、図2Aの動作と同じである。この動作モードは、下部アーム240しか光学的にポンピングされないために可能である。したがって、ポンピングされない他方のアーム235をドーピングする必要はない。しかしながら、この構成はうまく動作するが、ドーパントによりファイバの物理的（特に熱的および光学的伝搬）特性が大幅に変化する場合には図2Aの構成を用いることが好ましいことに留意されたい。図2Aのようにアームの両方がドーピングされれば、2つのアーム235および240は本質的に同

一であるため、それらが外部の温度変化に同じように応答し、かつ所望の点において干渉計がバイアスされることが確実となる。

図2Cのさらなる代替的な実施例において、マッハ・ツェンダー干渉計200全体は、ドーピングされたコアを備えたファイバを含む。このため、ドーピングされたリードファイバ220およびファイバ結合器230は有用な領域240に到達する前にポンプパワーのうちいくらかを吸収する。上述のとおり、この状況はポンプパワーの観点から見て最も望ましくはない。なぜなら、それがもたらす位相差は信号を有効に切換えることに何ら寄与しないという点で、リードファイバ220およびファイバ結合器230によって吸収されるポンプパワーの部分が無駄になるからである。しかしながら、図2Aまたは図2Bに示されるものよりも図2Cに示されるスイッチを製造するほうが実用的であろう。なぜなら、図2Cのスイッチでは、マッハ・ツェンダー干渉計200の製造前に、ドーピングされたファイバをドーピングされていないファイバに接合する必要があるからである。ドーピングされたファイバにスプライスがないことにより、スプライスによる付加的な信号およびポンプの損失がなくなる。干渉計自体にスプライスが存在

しない場合には（前述の熱の問題を回避するために）同一の長さを有する2つのアーム235および240によってデバイスを製造するほうが実際には簡単である。製造された干渉計スイッチは後に、スプライス282および283を介してドーピングされていない入力ファイバ280および281に接合され、スプライス286および287を介してドーピングされていない出力ファイバ284および285に接合され、スイッチ200を光ファイバシステム（図示せず）に組込むようにする。

干渉計スイッチ200に入る前の図2Cのリードファイバ220のポンプ吸収を低減するために、リードファイバ220の長さはできる限り短くされる。好ましくは、スプライス282、283、286および287は融合結合器230および260の製造前に作られるため、スプライスは融合結合器230および260の場所に近接して作ることができる。リードファイバ220の長さは、ポンピングアーム240に光の多くが吸収されることを保証するよう、ポンピングアーム

ム240の長さよりも理想的にはかなり短くすべきである。ファイバ結合器230のポンプ吸収を低減するために、融合ファイバ結合器として結合器230を作り、ドーパントをデバイス中のドーピングされたファイバのコア領域に制限することが好ましい。この態様で、技術分野において周知であるように、結合器230の結合領域の光が、2つの融合ファイバの結合外被によって案内され、すなわち、ドーピングされた領域での空間的な重なりが最小であり、ポンプ吸収もまた最小となる。このステップ、すなわち融合結合器を使用してドーパントをファイバコアを制限することは好ましいが、スイッチの適切な動作に不可欠なわけではない。

図2Dには第4の構成が示され、これはファイバのうち1つしか（ポンピングされるファイバ）ドーピングされない点を除いて、図2Cの構成と名目的には同じである。図2Aおよび図2Bの構成の関係に関して先に述べたとおり、図2Dの構成はうまく動作するが、ドーピングによりファイバの物理的（特に熱的）特性が大幅に変化する場合にはこれに代えて図2Cの構成を使用することが好ましい。図2Cのように両方のアームがドーピングされる場合、2つのアーム235および240は本質的に同一であるため、2つのアーム235および240は外

部の温度変化に対して名目的に同じように応答し、これにより干渉計のバイアスが確実に安定になる。

先に簡単に述べたとおり、特に好ましい実現例では非線形のドーパントとしてカラーセンターを採用する。ドーパントとしてカラーセンターを使用することはR.W.Sadowski, et al., All-Optical Switching Using Color Centers in an Irradiated Phosphorus-Doped Fiber, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 8, No.7, July 1996, pp.897-899に開示されている。カラーセンターの主な利点は、ファイバアーム（ファイバリッドではない）を単に照射することによってファイバマツハ・ツェンダースイッチ200が製造された後に、カラーセンターを外部から誘導することができる点である。典型的に、カラーセンターはファイバにガンマ線にあてることにより、特殊な態様でドーピングされたファイバに誘導することができる。ファイバリッドはポンプを吸収しないように照射される。こ

れは理想的である。なぜなら、ポンプは必要な場所（すなわちファイバマッハ・ツェンダーの内部）でのみ吸収されるべきであるからである。したがって低いポンプパワーが用いられる。なぜなら、実質的にポンプ信号のすべては非線形領域250で吸収され、これにより、アーム240中を伝搬する入力信号の部分に位相変化が引き起こされるからである。

カラーセンターではないドーパントを採用する場合、マッハ・ツェンダー200の製造に用いられるファイバは、典型的には、最初にエルビウム、イッテルビウムまたはネオジムなどの適切なドーパントでドーピングされる。この場合、干渉計（リードを含む）全体がドーパントされるため、リード（すなわち入力アーム210および220）は、図2Cおよび図2Dに関して先に説明したとおり、干渉計に結合される前にポンプを過度に吸収することを防止すべく非常に短くされる必要がある。

発明の好ましい実施例の別の重要な局面は、2つの結合器間の2つのファイバアーム上に伝熱体（たとえば上述の伝熱性グリース）を適用することにより、デバイスにおけるポンプによって引起された熱的な位相シフトを低減することである。伝熱体はポンピングされたファイバからポンピングされていないファイバへの流れの経路をもたらし、これにより、ポンプによって引き起こされた温度勾配

およびアーム235および240間の不所望な熱的な位相シフトを低減する。これに代えて、2つのファイバは2つのアームの長さに沿って（アーム235および240間に光を結合しないように外装領域にわたってのみ）互いに軽く融合されてもよい。ファイバアーム235および240を軽く融合することによっても、安定性がさらに高まる。

マッハ・ツェンダーファイバスイッチ200は結合器230および260間の距離が非常に小さくなるよう構成されるため、スイッチ200の温度安定性は高い。しかしながら、所要の位相シフトをもたらすためにカー効果に依存する場合、結合器230および260間に短いファイバを使用するとさらなる問題が生じる。すなわち、短いファイバ内で十分に高い差分位相シフト（すなわちおよそ π ラジアン位の位相シフト）を引き起こすためには、典型的には非常に大きなポンプ

パワーが必要であることがわかっている。カー効果によると、光信号に引起される差分位相シフトはファイバ長さに比例する。具体的には、位相差の依存性 $\delta\phi$ は下記の等式において数学的に表わされる。

$$\delta\phi = \frac{2\pi \times n_2 \times I_p \times l}{\lambda_s} \quad (1)$$

l はファイバ長さであり、 n_2 はカー効果による非線形性の測定値であり、 I_p は入力ポンプエネルギーの強度を表わす。

信号入力（約1500ナノメートル）の波長および標準シリカファイバ非線形性が与えられていれば、十分な切換を行なうのに必要なパワーおよびファイバ長さのおよその積は、およそ700ワットメートルであると計算することができる。したがって、上記の等式から、短い長さを有するファイバアームには、マッハ・ツェンダースイッチ200の切換動作を確実に適切にするために必要な位相シフトを引起すためには、大きなポンプパワーが要求されることがわかる。ドーピングされていないシリカファイバにカー効果が既に見られる、上述の典型的な短いマッハ・ツェンダー設計の場合、結合器間にこのような短い（たとえば1mmのオーダー）ファイバアームを設けると、十分な切換を行なうために700kWのオーダーのピークポンプパワーが必要である。このパワーは実用的な用途の場合非常に高く、ファイバ入力端部220を破壊することもある。

この発明の好ましい実施例によると、高濃度のドーパントが領域245および250（図2Aまたは図2B）内のファイバアーム235および240の一方または両方に加えられ、これらの領域にわたるファイバの非線形性を高めるようにする。非線形領域250はポンプパワーを吸収し、必要に応じて π の非線形位相シフトをもたらし、マッハ・ツェンダースイッチ200における（数センチメートル未満の）可用な短い長さにわたって十分な切換をもたらしようにする。たとえば、適切なドーパントおよび濃度により、領域250の非線形性は十分なレベルまで高められるため、十分な切換を行なうためにはおよそ1ミリワットのポンプパワーしか必要ない。実際に、およそ100ミリワットまでの切換パワーを許容するドーピング濃度、長さおよび非線形性もまた許容範囲内であろう。要求さ

れるこれらのレベルのドーピング濃度はR.H.Pantell, et al., Analysis of Nonlinear Optical Switching in an Erbium-Doped Fiber, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol.11, No.9, September 1993, pp.1416-1424に記載されている技術を用いて得られる。

いくつかの例示的な実施例では、ファイバアーム235および240は、エルビウム、イッテルビウムまたはネオジムドーパントを用いて、かつカラーセンターを用いることにより、ドーピングすることができる。イッテルビウム、エルビウムまたはネオジムドーパントの濃度は、切換に必要なポンプパワーが（たとえばおよそ1センチメートル未満の）十分に短いファイバにわたって確実に吸収されるようにするために、50,000ppmのオーダーであろう。

本質的にはファイバの照射によって引起されるファイバの光吸収欠陥であるカラーセンターは、カラーセンターの高い吸収性および速い切換特性のために、実施例によっては特に有用であろう。先に簡単に述べたとおり、ポンプ光が光学導波路の非線形領域に入射すると、屈折率が変化する。なぜなら、ポンプ光の吸収により原子が高いエネルギーレベルまで上昇するからである。ポンプ光がオフになると、電子がそれらの元のエネルギーレベルまで降下するため、導波路の元の屈折率が回復する。電子が接地状態まで非常に迅速に戻り、このためある屈折率から別のものへの切換（したがってある出力ポートから別のものへの光の切換）が非常に迅速に起こることは、既に観察されているカラーセンターの特性である。さ

らに、カラーセンターは非常に吸収性が高く、他の多くのタイプのドーパントよりも短い距離にわたって所与のパワーを吸収することができる。

カラーセンターは、適切な材料によってドーピングされたファイバから始まって、選択された時間だけファイバにガンマ線を照射して、十分な濃度のカラーセンターをもたらすようにすることにより得られる。特に特定の例では、カラーセンターを用いて非線形性をもたらすことは、典型的に、ファイバをガンマ線で照射する前にリン酸 (P_2O_5) でファイバを予めドーピングすることによって行なわれる。結果として生じるファイバは、750nmの波長範囲の赤外スペクトル中の光を吸収する塩化酸素ホールセンター (phosphorous oxygen hole center)

(POHC)を含む。カラーセンターの濃度は元のドーパント（すなわちカラーセンターのプリカーサ）の濃度およびガンマ線のドーピング量によって決定され、これらはマッハ・ツェンダーファイバスイッチの長さにわたって十分な濃度のカラーセンターが得られるように選択される。しかしながら、カラーセンターに関連するある問題点は、いくつかのカラーセンターは光漂白され、ある時間が経過すると、ポンプパワーの吸収に有効でなくなることである。したがって、光漂白されにくい永久的な特性を有するカラーセンターをもたらすことが望ましい。

発明の代替的な実施例が図3に示される。図3に示されるように、集積された光マッハ・ツェンダースイッチ300はシリカ上またはシリカ基板305上のシリカ上に形成される。集積された光マッハ・ツェンダースイッチ300はファイバマッハ・ツェンダースイッチ200と実質的に同じ大きさを有する。図3に示されるように、集積された光マッハ・ツェンダースイッチ300は入力ポート310および315を含み、これら是对應の入力アーム320および325に結合される。結合器330は、アーム320および325が対面するところで、基板305内に形成される。結合部分330の後、集積された光マッハ・ツェンダースイッチ300は別個のアーム335および340に分岐し、これらはアーム335および340間の熱結合を高めるために、有利には隣接して、または非常に密接して置かれる。それぞれ領域345および350におけるアーム335および340の一方または両方をドーピングするために、さらにマスキングを用いてもよい。その後、結合器330から1mmから2cmの距離をおいて別の結合器

360が形成される。最後に、集積された光マッハ・ツェンダースイッチ300は1対の出力ポート365および370に分岐する。シリカの代わりに他の材料を用いてもよいことを理解されたい。

集積された光マッハ・ツェンダースイッチ300の動作はファイバマッハ・ツェンダースイッチ200の動作と実質的に類似する。もちろん、当業者には、ファイバリードを入力ポート310、315および出力ポート365、370などに結合するといった、集積された光導波路の使用に特定の技術をスイッチ300の場合に採用することが認められるであろう。

図4 Aから図4 Cは、ポンプ入力パワーによる、結合器間の伝搬経路に対する、ポンプによってもたらされる別の効果を示す。特に、図4 Aにパルス400で示されるように、ポンプ入力信号は周期的にパルス化されるため、ポンプ入力光源がパルス化されるたびに、マッハ・ツェンダースイッチ200（または300）には突然のパワー入力をもたらされる。図2 Aから図2 Dにおけるスイッチ200のポンピングアーム240内の温度に対する、このパルス化ポンプ入力の効果は、図4 Bにおいて温度曲線410で示される。図4 Bに示されるように、第1のポンプ入力パルスにより、ポンピングアーム240の温度が突然上昇する。なぜなら、パルスからのエネルギーがポンピングアーム240内のドーピング領域250によって吸収されるからである。入力ポンプ信号からのエネルギーのいくらかは、ポンピングアーム240内の電子のエネルギーレベルを上昇させるために用いられ、それにより、ポンピングアーム240の屈折率伝搬特性を変更するようにするが、電子は部分的に非放射プロセスによって接地状態まで低下し、この低エネルギー状態への遷移に応答して熱を放射する。このことには、ポンピングアーム240における温度変化が考慮に入れられる。典型的に、ポンピングアーム240の温度はポンプ入力パルスの間上昇し、ポンプパルスの後、マッハ・ツェンダースイッチ200を囲む環境に熱が放射されるにつれてゆっくりと減衰する。入力ポンプパルスの期間が十分に短い場合、次のパルスが現われるまでには熱のすべてがポンピングアーム240のコアから消散しているため、次のパルスにより別の温度動作が開始する。第2のパルス後のポンピングアーム240のコアのピーク温度は、第1のパルス後のポンピングアーム240のコアのピーク温度より

もわずかに高い。このパターンは、複数のパルス後に、消散した熱とポンピングアーム240内に発生した熱との間にバランスが得られるまで繰返される。したがって、この一定の温度上昇は、図4 Bにおいて、増加および減少温度を表わす階段状パターンとして示される。図4 Bの温度曲線420は温度のベースラインの上昇を示す。このベースラインは与えられるポンプパルス数の増加とともに徐々に上昇し、最終的には、図4 Bに ΔT で明示された定常状態値に到達する。明

瞭化のために図4Bの温度曲線420は数個のポンプ入力パルス後に定常状態値 ΔT に近似するものとして示されるが、実際にはこの定常状態値に到達するには何百個または何千個の（それより多くの）パルスが必要であろう。この理由で、図4Bに示される例とは異なり、定常状態値 ΔT は単一のポンプパルスによる温度の上昇よりもはるかに大きい。

2つのアームが熱的に結合されない場合、たとえば2つのアーム235および240が熱的に隔てられている場合、ポンピングアーム240のみが加熱される。この結果、ポンピングアーム240の屈折率が変化する（なぜならその長さおよび屈折率は温度に依存するからである）。しかしながら、非ポンピングアーム235の屈折率はこのように変化しない。この結果、このような熱の不均衡により光信号がさらなる位相シフトを経験する（他方の位相シフトは非線形な位相シフトである）。この熱的な位相シフトは干渉計のバランスを変えてしまうため問題である。それが時間とは無関係に変化する場合には、2つのアーム235および240間に訂正位相シフトを与えることによってオフセットすることができるが、熱的な位相シフトは時間に依存する。したがって、この発明の解決策は、アーム235および240間の熱伝導を促進し、2つのアームが実質的に同じ温度に維持されるようにすることである。

図4Cはこの発明の好ましい実施例に関連した利点を示し、マッハ・ツェンダースイッチ200のアーム間には有効な熱結合がもたらされる。図4Cの曲線420はポンピングアーム240に生じた温度上昇を表わし、図4Bに示される曲線420と実質的に同じである。曲線430は、ポンピングアーム240から非ポンピングアーム235への熱伝導による、非ポンピングアーム235における温度上昇を表わす。図4Cでは温度曲線430は数個のポンプ入力パルスの後に

平均温度に近づくものとして示されるが、ここでもまた、実際には、ポンピングアーム240の平均温度と実質的に同じ平均温度レベルまで非ポンピングアーム235を上昇させるためには何百個または何千個（またはそれより多くの）入力パルスが必要であることが認められるであろう。ポンピングアーム240から非ポンピングアーム235に熱を結合することにより、十分な数のパルス後に、実

質的に同じ温度ベースラインが両アームに対して得られ、このため、各ポンプ入力パルス時における短いバーストによってのみ、2つのアーム間の温度差だけが生じるようになる。このため、かなり小さくて対処できる過渡的な温度差が2つのアーム235および240間で各パルスに対して見られる。2つのアーム235および240間が温度による十分な結合を持たない場合、2つのアーム間の温度差は図4Bに示される温度上昇の絶対的な大きさにほぼ等しいであろう。この値は図4Bで ΔT として表わされる。これとは対照的に、良好な熱結合が見られる場合の2つのアーム235および240間の最高温度差は図4Cで δT として表わされ、典型的にこれは実質的に ΔT 未満である。

概して、この発明は、能動的な安定化を必要とせずに熱的に安定化する非線形ファイバスイッチを製造するために元々合わせて用いられることが意図されていなかった既存の概念と技術とを組合せたものである。

以上にこの発明の好ましい実施例を詳細に説明したが、その精神または中心的な特徴から逸脱することなく発明にはいくつかの自明な修正および適応が施されてもよいことが当業者には認められるであろう。たとえば、十分に高い濃度のいくつかのタイプのドーピング剤がマッハ・ツェンダースwitchのポンピングアームのドーピングに用いられてもよい。さらに、発明の本質から逸脱することなく、ファイバまたは集積された光スイッチの製造技術に軽微な変形が施されてもよい。したがって、この発明の範囲は添付の請求の範囲に鑑みて規定されるべきである。

【図1】

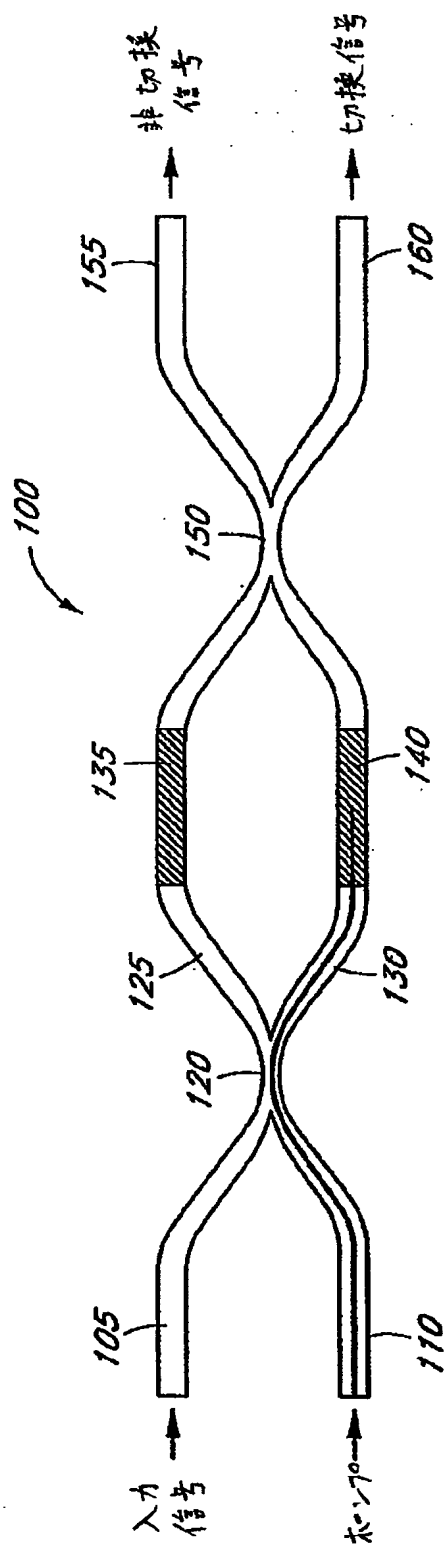
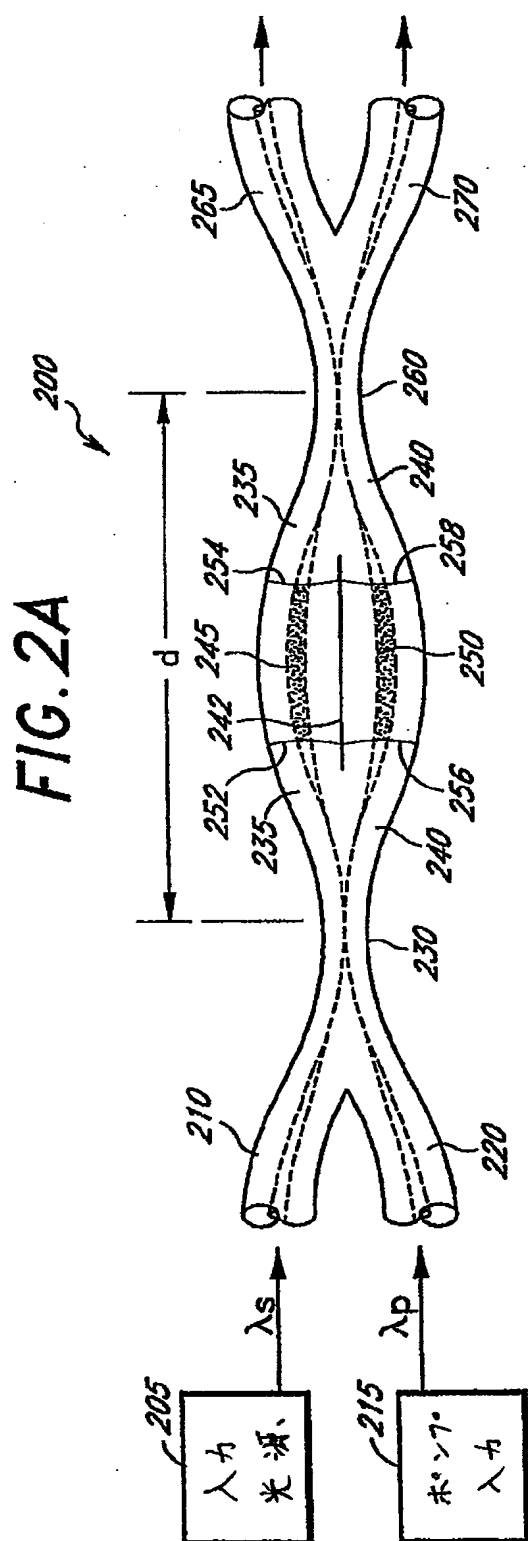
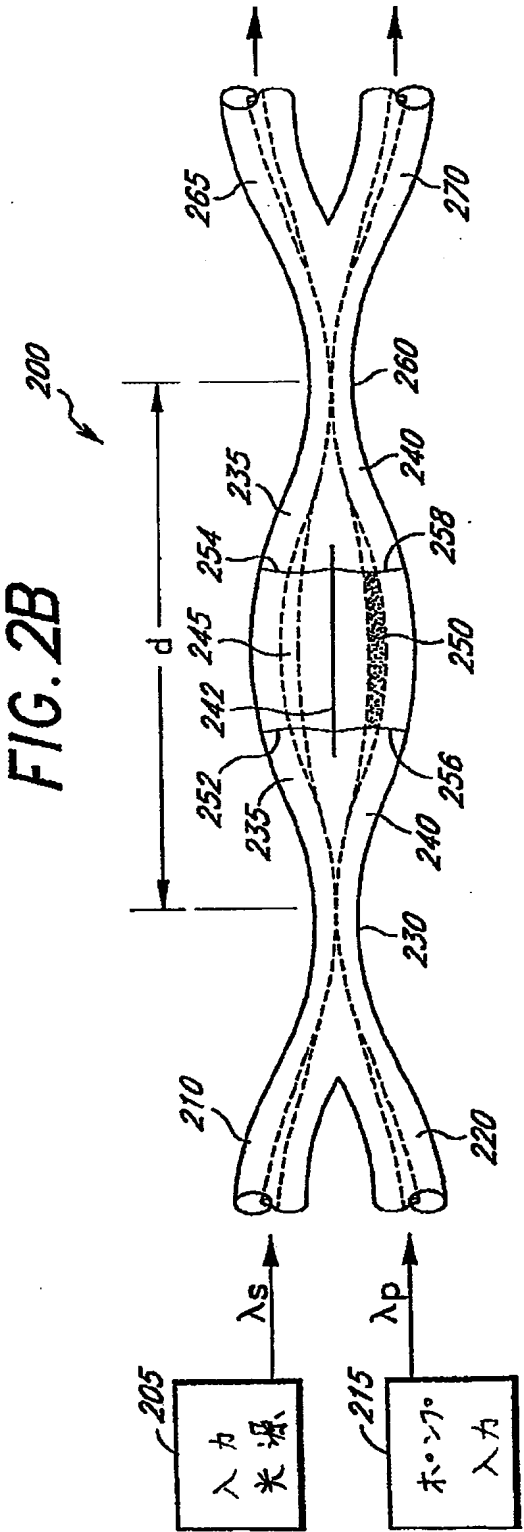


FIG.1

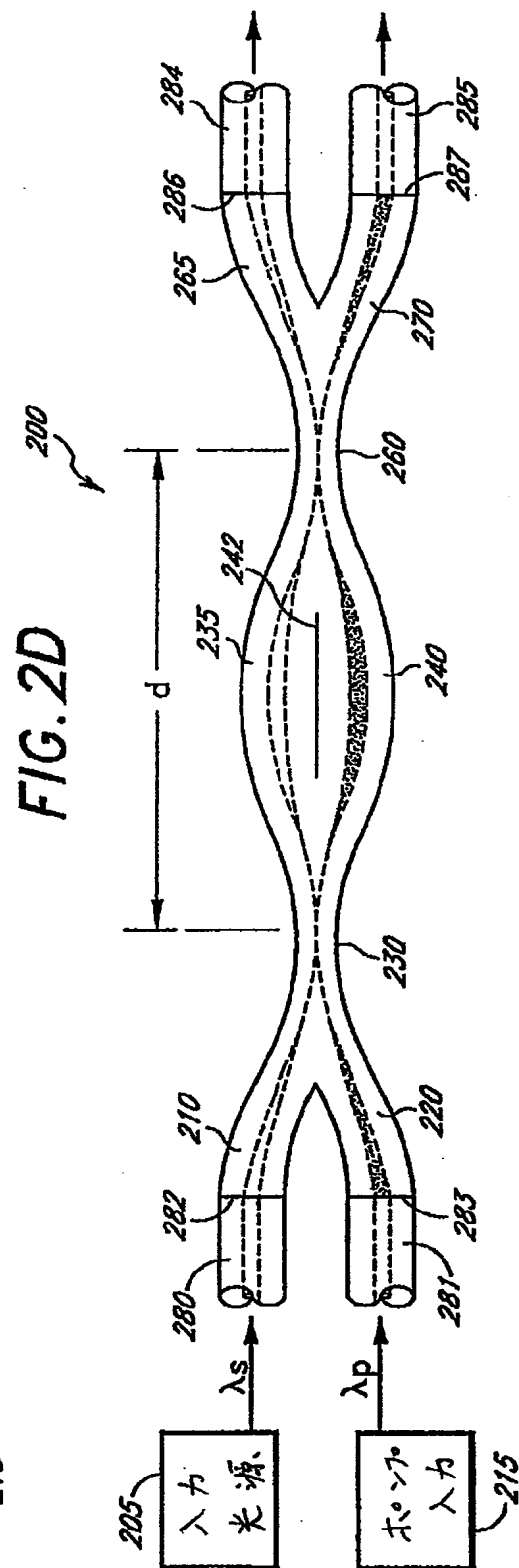
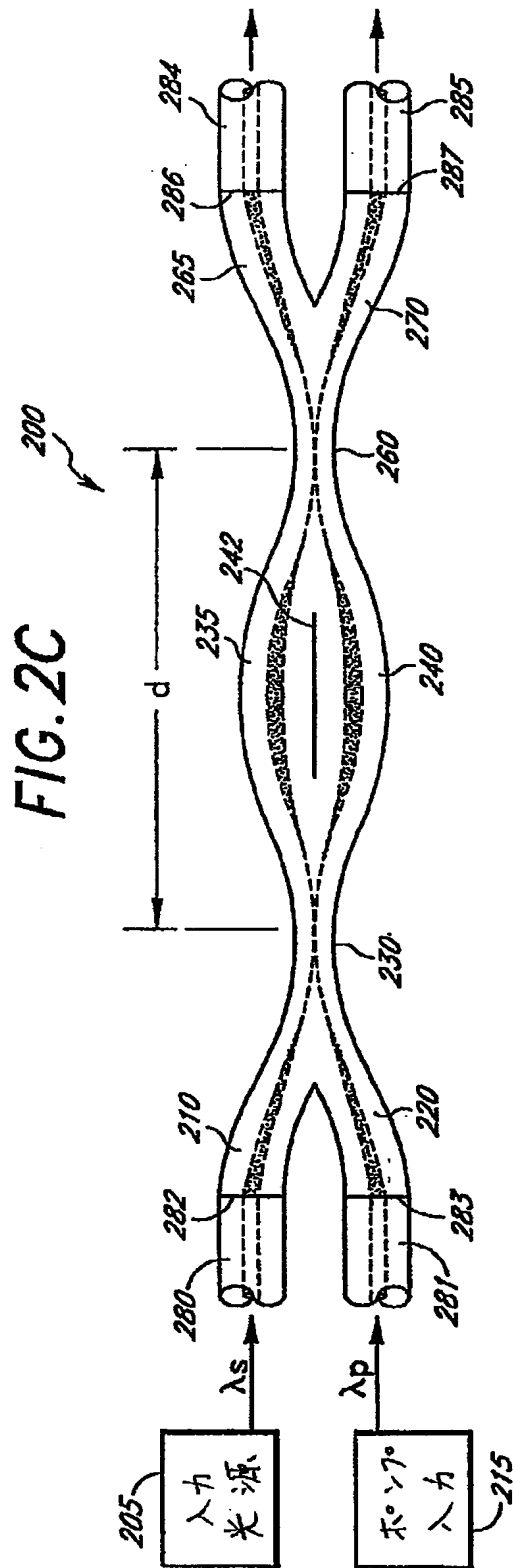
【図2A】



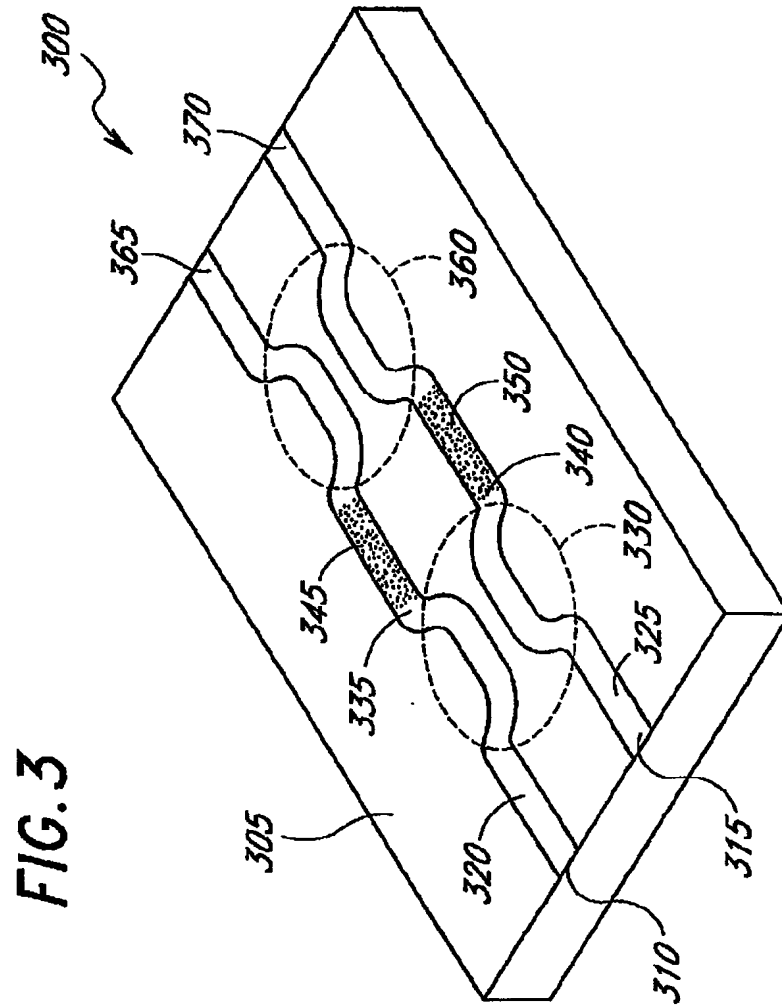
【図2】



【図2】



【図3】



【図4】

FIG. 4A

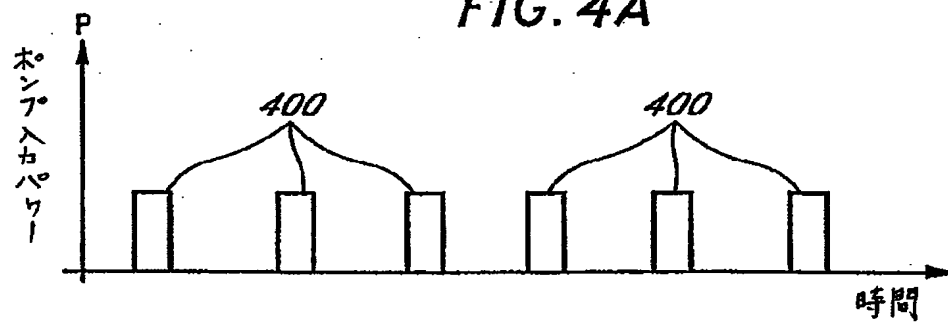


FIG. 4B

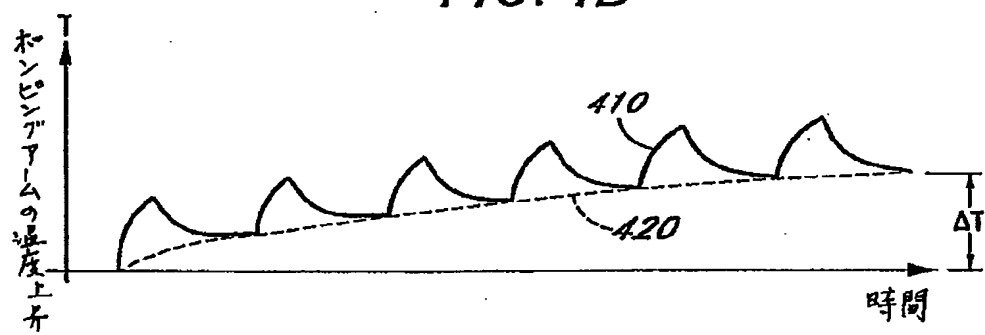
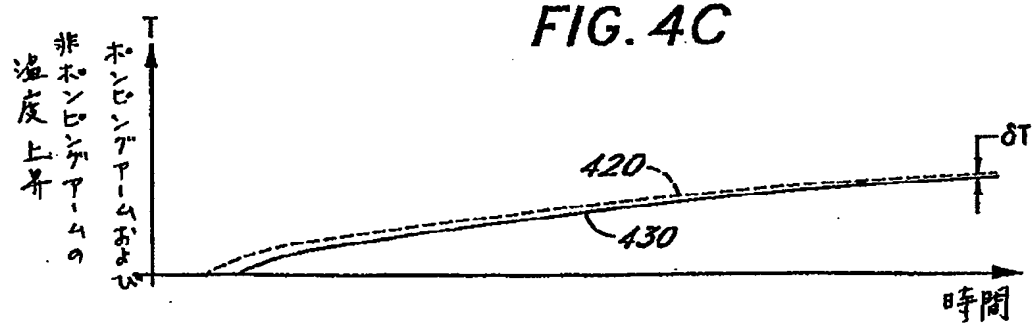


FIG. 4C



【手続補正書】

【提出日】平成11年7月7日(1999. 7. 7)

【補正内容】**請求の範囲****1. 光スイッチであって、**

入力として光入力信号とポンプ入力信号とを受け、第1および第2の結合出力をもたらす第1の光結合器と、

前記第1の光結合器と光学的に連通して前記第1の結合出力を受ける第1の光導波路とを含み、前記第1の光導波路は、それを通して前記光入力信号の第1の部分伝搬させ、さらに

前記第1の光結合器と光学的に連通して前記第2の結合出力を受ける第2の光導波路を含み、前記第2の光導波路は、それを通して前記ポンプ信号と前記光入力信号の第2の部分とを伝搬させ、前記第1の光導波路および第2の光導波路は、熱的に安定化するように十分に短い長さを有し、さらに

入力として前記第1および第2の光導波路からの光を受け、前記光に応答して第1および第2の出力ポートに光出力信号を選択的に与える第2の光結合器を含み、前記第2の光導波路は、前記光入力信号の前記第1および第2の部分間に位相シフト差をもたらすよう十分な非線形性を有し、低入力パワーの前記ポンプ信号が与えられた場合に、前記光出力信号の、前記第1の出力ポートから前記第2の出力ポートへの切換を実質的に完了するようにする、光スイッチ。

2. 熱安定性のファイバマッハ・ツェンダー光スイッチであって、

マッハ・ツェンダー干渉計を含み、前記マッハ・ツェンダー干渉計は、それを通して入力信号を伝搬させ、それにより、前記入力信号の第1の部分が第1の出力ポートに結合され、前記入力信号の第2の部分が第2の出力ポートに結合され、前記第1の部分のパワーと、前記第1の部分および前記第2の部分のパワーの和との比は結合比を規定し、前記干渉計は、およそ0℃から50℃の範囲にわたって、前記結合比がおよそ0.2 dBを超えてまで変化しないように、温度安定性を有し、さらに

ポンプ入力源を含み、前記ポンプ入力源は光学的切換をもたらすよう前記結合

比を変化させる入力ポンプ信号を供給し、前記干渉計の前記温度安定性は、能動的な安定化を必要とすることなく前記ポンプ信号がある時に維持される、光スイッチ。

3. 全光スイッチとして使用するためのファイバマツハ・ツェンダー干渉計であって、前記干渉計は、

光入力信号とポンプ信号とを受ける第1の結合器を含み、前記第1の結合器は光を第1および第2のファイバアームに結合し、さらに

前記第1および第2のファイバアームを介して前記第1の結合器と光学的に連通する第2の結合器を含み、前記第1および第2のファイバアームは、前記第1および第2の結合器間に、熱的に安定化するよう十分に短い長さを有する光学伝搬経路を規定し、さらに

前記第2の結合器と光学的に連通する第1および第2の出力ポートを含み、前記第1のファイバアームは、前記第1のファイバアームに1ミリワットから10ミリワットのオーダのポンプパワーが与えられたときに前記光入力信号を前記第1の出力ポートから前記第2の出力ポートに十分に切替えるよう十分なドーピング濃度を有するドーパントによってドーピングされる、干渉計。

4. 全光スイッチとして使用するためのファイバマツハ・ツェンダー干渉計であって、前記干渉計は、

前記干渉計を通して伝搬する光信号を分割して再度結合させる第1および第2の結合器を含み、前記第1および第2の結合器は間に伝搬経路を有し、前記伝搬経路は熱的に安定化するよう十分に短い長さを有し、さらに

前記伝搬経路内にあるファイバアームを含み、前記ファイバアームは、入力パワーを有するポンプ信号を用いて前記第2の結合器の出力において前記光信号の十分な切替を行なうよう十分な非線形性を有し、前記入力パワーは、前記干渉計に確実に損傷が引起されないようにし、かつ有害な熱による影響が確実に観察されないようにするよう十分に低い、干渉計。

5. 第1および第2の結合器を有する短いファイバマツハ・ツェンダー干渉計において、前記第1および第2の結合器間の伝搬経路に沿った距離は、熱的に安定

化するよう十分に短く、方法は、

前記干渉計の第1のポートに光入力信号を入力するステップと、

ポンプ切換信号の前記干渉計の第2のポートに入力するステップと、

前記ポンプ切換信号のエネルギーをコントロールして、前記光入力信号を前記干

渉計の1つの出力ポートから別の出力ポートに切換え、前記干渉計を全光スイッチとして用いるステップとを含む、方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US97/24183

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(6) : G02B 6/26; G01B 9/02

US CL : 385/39; 356/345

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 385/39,1,2,3,14,15,16,27,28,29,30,40,43; 372/6/31/69,70; 356/345,349

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
NONE

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

USPTO APS: search terms: OPTIC?(2A)COUPLER? AND (FIBER? OR FIBRE? OR WAVEGUIDE?) AND PUMP? AND NONLINEAR? AND MACH(W)ZEHNDER? AND PHASE(W)SHIFT? AND THERMAL?(2A)STABL?

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5,479,546 A (DUMAIS ET AL.) 26 December 1995 (26/12/95), see entire document.	1-34
A	US 5,119,453 A (GONTHIER ET AL.) 02 June 1992 (02/06/92), see entire document.	1-34
A,E	US 5,703,975 A (MILLER ET AL.) 30 December 1997 (12/30/97), see entire document.	1-34

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"A" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

27 APRIL 1998

Date of mailing of the international search report

28 MAY 1998

Name and mailing address of the ISA/US
Commissioner of Patents and Trademarks
Box PCT
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. (703) 305-3594

Authorized officer

BRIAN HEALY

Telephone No. (703) 308-2693

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN, YU, ZW

(72)発明者 ショー, エイチ・ジョン

アメリカ合衆国、94305 カリフォルニア
州、バロ・アルト、アルバード・ロウ、
719

(72)発明者 バンテル, リチャード・エイチ

アメリカ合衆国、94025 カリフォルニア
州、メンロ・パーク、ノース・バルサミ
ア・ウェイ、170

(72)発明者 サドウスキ, ロバート・ダブリュ

アメリカ合衆国、10996 ニュー・ヨーク
州、ウェスト・ポイント、ニュー・サウ
ス・ポスト、2113、アパートメント・301